

ナタネの物質生産に関する研究 第4報

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	稲永, 忍 玖村, 敦彦 村田, 吉男
巻/号	49巻3号
掲載ページ	p. 489-489
発行年月	1980年9月

ナタネの物質生産に関する研究

第4報 個体群の光合成・呼吸の日変化

稲 永 忍・玖 村 敦 彦・村 田 吉 男

(東京大学農学部)

昭和55年1月31日受理

圃場条件下では日射をはじめ種々の環境要因が1日を周期とした日変化を示す。それに伴い光合成や呼吸も顕著な日変化を示すことが種々の作物で知られている。しかし、ナタネについてはまだそのような調査がなされていない。そこで本研究においては、圃場条件下におけるナタネ個体群の光合成・呼吸の日変化の実態を生育各期において調査するとともに、この調査を通じてみいだされた冬季の低夜温の後作用によると思われる光合成抑制現象について、規制環境下で解析を試みた。

材 料 と 方 法

試験 I. 光合成・呼吸の日変化と環境諸要因との関係について検討したものである。

本試験のデータは第1報³⁾と同じ試験でえられたものである。したがって、試験の材料・方法については第1報に記述したとおりである。

試験 II. 低夜温の後作用による日中の光合成の抑制について検討したものである。

供試品種：ナタネ農林16号(農林水産省農業技術研究所遺伝第2研究保存のもの)。

栽培方法：1974年9月28日、東京大学農学部附属農場(東京都田無市)の圃場の造成した苗床に播種した。本圃定植は10月30日に行なった。本圃の栽植条件は南北畦、畦間60cm、株間20cmとした。本圃には10a当たり、化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=12:18:12)80kgを基肥として施した。

CO₂交換の測定法：CO₂交換測定装置は第1報において記述したものとほぼ同じものを用いた。ただし、同化箱内の温度調節は新たに作製した自動空調装置を用いて行なった。環境測定用測器も第1報の場合と同じものを用いた。

試験は1975年2月28日から3月4日にかけて実施した。材料は同じ植物体を続けて使用し、日によって夜間の気温を変えた。夜温処理は19時から翌日の7時

30分までの間実施した。夜温のレベルは2月28日～3月1日、-5°C；3月1～2日、-10°C；3月2～3日、5°C；3月3～4日、0°Cとした。日中の気温は試験期間中10°C一定に保った。なお、同化箱の下面(土壌からのCO₂が同化箱内に混入しないよう塩化ビニルフィルムが張ってある)と地表面との間のすきまを広くあげ、外気の通りをよくした。この処置により、いずれの試験日においても同化箱直下の地温(地下5cm)はほぼ同じレベルで推移した。同化箱内部の空気湿度については特別な制御を施さなかったが、試験期間中、日中の空気湿度はほぼ一定のレベルで推移した。

以上のような規制温度条件下で、自然光下における

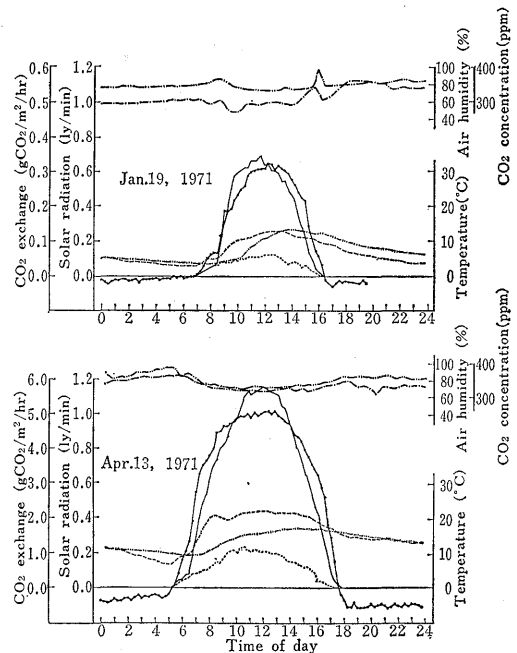


Fig. 1. Diurnal variations in CO₂ exchange (—●—), total solar radiation (—), diffused solar radiation (.....), air temperature (---), soil temperature at depth of 5cm (----), air humidity (-·-) and CO₂ concentration of air (- - -).

* 大要は第158回講演会(昭和49年10月)において発表。

みかけの光合成速度を測定した。

結果と考察

1. 生育各期における光合成の日変化

第1図にみられるように、みかけの光合成(以下“みかけ”を省略する)は、種々の環境要因のなかでもとりわけ全日射強度の動きに追従する。このことから、THOMASとHILL¹⁴⁾以来数多くの作物個体群について認められているように、ナタネ個体群においても全日射強度が光合成速度を支配する第一の要因であるといえよう。

つぎに、第1図に示した両日において光合成速度と全日射強度とが最大値を示す時刻について比較してみると、1月19日の場合には全日射強度のほうが早い時刻に最大値を示す。いっぽう、4月13日の場合には両者ともほぼ同じ時刻に最大値を示す。そこで、全日射強度と光合成速度との量的関係を検討しやすくするために、各時刻の測定結果を光—光合成曲線のかたち

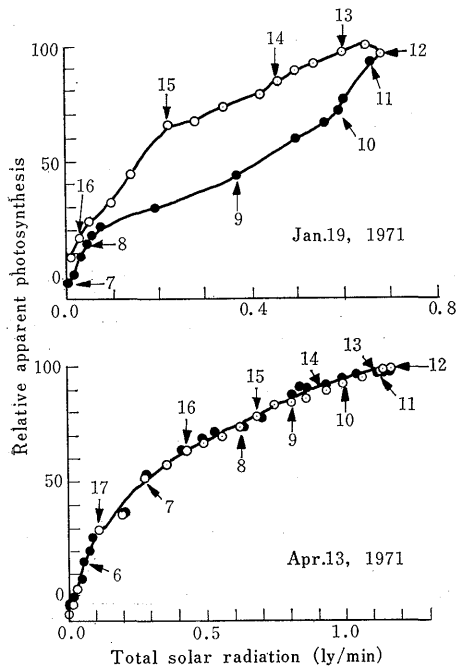


Fig. 2. Two typical patterns for diurnal variation in apparent photosynthesis. Numerals in the figure indicate the time of day. Photosynthetic rates: ● in the morning, ○ in the afternoon

Table 1. Solar radiation, minimum air temperature, mean air temperature and the type of diurnal variation in photosynthesis.

Date	Solar radiation (ly/day)	Minimum air temperature (°C)	Mean air temperature in the daytime		Type of diurnal variation
			Morning	Afternoon	
1970,					
Dec. 8	138	0.8	9.7	9.7	B
9	161	0.0	7.6	7.4	B
10	152	-2.0	6.4	10.3	B
21	151	1.1	6.5	10.9	B
22	78	3.0	7.2	10.7	A
23	29	5.8	8.5	8.8	A
1971,					
Jan. 5	154	0.2	4.4	6.6	—
6	181	-3.6	3.7	7.0	B
7	158	-0.7	4.7	9.1	B
8	121	3.2	5.7	8.0	B
19	190	2.8	8.2	11.5	B
20	163	-0.5	7.0	9.7	B
Feb. 1	220	-2.1	6.3	8.6	B
2	177	-1.0	5.3	7.4	B
3	196	-1.2	5.5	9.1	B
15	31	2.7	3.2	14.8	A
16	301	0.5	11.0	4.7	B
17	43	5.6	8.7	8.2	A
18	225	5.2	11.6	13.7	A
Mar. 1	124	5.0	5.0	8.9	A
2	278	4.1	9.1	14.1	B
3	21	7.5	7.7	7.9	A
4	304	0.2	10.4	8.9	B
15	389	-1.3	11.2	11.6	B
16	306	-1.5	9.5	14.2	—
17	393	3.9	13.7	15.4	B
18	261	6.7	9.6	14.4	A
29	375	8.5	14.1	18.9	B
30	60	16.4	17.8	17.1	A
Apr. 12	450	3.0	10.7	17.0	B
13	447	6.9	16.8	19.0	A
26	252	11.0	13.5	15.6	A
27	533	9.4	12.9	20.6	B
May 10	482	9.7	18.3	20.1	A
11	470	11.0	18.8	21.2	A
24	105	17.3	18.7	17.8	A
25	205	17.8	22.6	23.6	A
26	480	14.4	23.3	27.2	A
June 9	439	21.2	25.7	27.2	A
10	162	20.6	23.1	24.3	A

整理してみた。それを第2図に示す。4月13日の場合には、同一全日射強度の下で比較すれば午前の光合成速度と午後のそれとがほとんど等しい。したがって、各時刻の測定値を示す点がほぼ一本の光—光合成曲線の上に分布する。以下、高・玖村⁷⁾にならい、このような日変化の型をA型とよぶことにする。これに対し、1月19日の場合には、午前、午後の測定値を示す点がそれぞれ別の光—光合成曲線を形作っている。同一全日射強度下の光合成値を比較すると、午前のほうが午後に比べ低い。このような日変化の型をB型⁷⁾とよぶことにする。以下、本報告において、単に“日変化の型”と称するのは上記のような観点からみた光合成の日変化の型のことである。

全測定日の日変化の型を第1表に一括して掲げた。またこの表には、日変化の型と関連を持つ可能性が考えられる諸要因、すなわち1日当たりの全日射量、明け方の最低気温、午前・午後の平均気温をも掲げた。ただし、ここでいう午前・午後の平均気温とは、1970年12月8日から1971年3月18日までは午前、8時～11時；午後、13時～16時；3月29日から6月10日までは午前、6時～10時；午後、14時～18時、の各時間帯における気温の平均値のことである。

A・B 両型の出現状況について第1表をみると、いずれの時期においてもA・B両型がみられるが、B型は冬季に、A型は春季にその出現ひん度が高いといえる。そこで、日変化の型はいかなる環境要因によって規定されているのかという点について検討してみよう。まず、全日射量とA・B両型の出現ひん度との関係についてみると、両者の間には一貫した関係を認めがたい。ただし、それぞれの生育時期のなかで全日射量の非常に少ない日に着目してみると、A型が多くみられる。つぎに、午前と午後の平均気温の較差と日変化の型との関係についてみると、両者の間には明確な関係を認めがたい。しかし、明け方の最低気温と日変化の型との間には比較的一貫した関係が認められる。すなわち、B型の多くみられる冬季においては、いっばんに春季に比べ最低気温が低い。また同じ生育時期でも日によって日変化の型が異なることがある。このような場合について検討すると、B型がみられる日は、A型のみられる日に比べて明け方の最低気温が例外なく低い。このほか、表に記載しなかった他の環境要因（散乱日射量、空気湿度、空気中のCO₂濃度、地温）と日変化の型との関係についても検討を行なったが、これらとの間には一貫した関係は認められなかった。以上のことから、光合成の日変化がA・B両型の

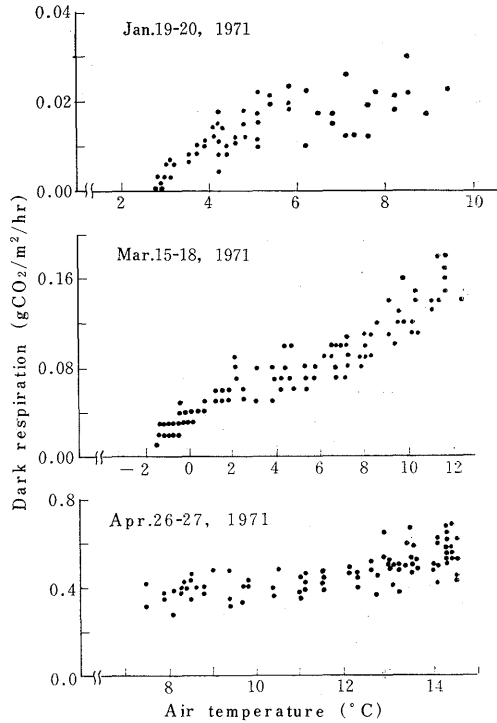


Fig. 3. Relationships between dark respiration rates and air temperatures at night.

いずれを示すかは明け方の最低気温のいかんにかかっているようにみえる。光合成の日変化を調べた最近の報告によれば、B型の光合成の日変化がコムギ^{3,7)}、オオムギ^{2,12)}、ライムギ⁶⁾、パンゴラグラス⁵⁾についても認められている。そしてこれらの報告によれば、この型の日変化は明け方の最低気温があるレベル以下の場合に出現するという。これに加えて、武田¹²⁾は土壌の凍結もB型の出現と関連しているのではないかと推察している。さきに述べた本試験の結果も、これら既往の諸研究の結果と傾向としてはよく一致している。

2. 生育各期における夜間の呼吸の推移

第1図にみられるように、夜間の呼吸は時に不規則な動きを示すが、全般的には気温に対応した変化を示す。そこで、ロゼット葉期、抽だい期、開花・稔実期における夜間の呼吸のデータを気温と対応させて整理し、第3図に示した。大部分の生育時期において、呼吸速度と気温との間にはかなり密接な関係が認められた。ただし、4月26～27日のように、両者の関係があまり定かでない場合も若干みられた。このことからみて、ナタネ個体群の夜間の呼吸速度を支配する主要な要因は、気温であると結論して差支えないであろう。夜間の呼吸速度の時刻的变化が気温により強く規定さ

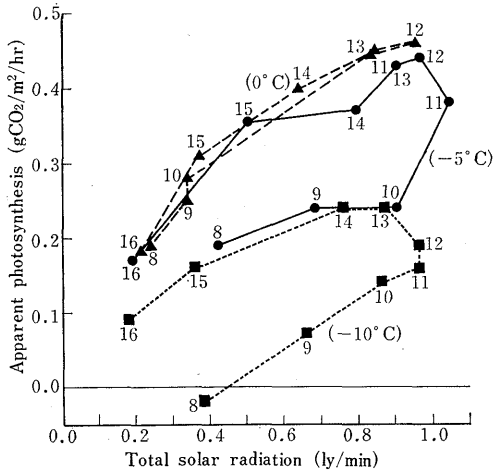


Fig. 4. Relationships between apparent photosynthesis and total solar radiation on three days differing in air temperature at the preceding night. Numerals in the figure indicate the time of day and air temperature of preceding night (in parentheses). Air temperature in the daytime: 10°C constant.

れていることは、アルファルファ¹⁴⁾、イネ¹¹⁾、コムギ^{8,7)}、サツマイモ¹⁵⁾、ワタ¹⁾などの作物においても認められており、このことは多くの植物に普遍的な現象と考えられる。

3. 低夜温の後作用による日中の光合成の抑制

試験Ⅱでえられた光合成速度および全日射強度についての測定結果を光—光合成曲線のかたちに整理し、第4図に示した。前夜温が0°Cの場合にはA型、つまり午前・午後の光合成値がほぼ一本の光—光合成曲線上に分布するかたちの日変化がみられた。これに対し、前夜温が-5°Cおよび-10°Cの場合にはB型、つまり同一の全日射強度下における光合成値が午後よりも午前において低い型の日変化がみられた。また、各測定日の光合成の絶対値を同一の全日射強度下で比較した場合、前夜温が低いほど小さいという傾向が認められた。この傾向は特に午前値において顕著であった。最近、高ら⁹⁾はコムギについて本試験と同様な結果を報告している。さらに彼らは、この日中の光合成に対する低夜温の後作用の機作について解析を試みている⁹⁾。その結果によれば、低夜温の後作用によるみかけの光合成の低下は、光呼吸の昂進によるものではなく、真の光合成の低下によるものであるという。この低下は気孔開度の減少、葉肉細胞内の光合成活性の低下の双方によってもたらされるという。

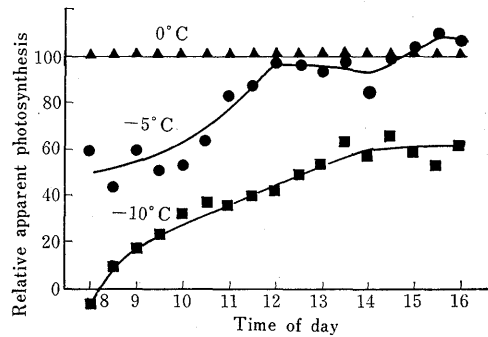


Fig. 5. Time courses of apparent photosynthesis on three days preceded by nights differing in air temperature. Numerals in the figure indicate the air temperature of preceding night.

つぎに、低夜温の後作用による日中の光合成抑制の程度についてさらに定量的に検討してみたい。前述のように前夜温が0°Cの場合、前夜温の後作用による光合成の抑制はほとんどみられなかった。そこで、この光—光合成曲線を低夜温の後作用による光合成抑制がない場合の光—光合成曲線とみなすことにした。そしてこの光—光合成曲線から、前夜温が-5°C、-10°Cの両日における各時刻の全日射強度に対応する光合成値を読みとった。つぎに、この読みとり値に対する各時刻の実測値の割合を算出した。以上のような手続きによりえられた光合成の相対値を図示したものが第5図である。この図において、各時刻における低夜温の後作用による光合成の抑制程度は、0°Cの直線と-5°C、-10°Cの曲線との間の開きとして表わされる。前夜温が-0°Cの場合には、光合成の相対値は明期の始めには約50であったが、光合成の抑制は時刻の進みに伴い軽減し、12時頃になるとほとんど消えた。これに対し前夜温が-10°Cの場合には、光合成の抑制はさらに強く、明期の始めの光合成はほとんどゼロであった。この場合にも、光合成の抑制は時刻の進みに伴い徐々に減じたが、日没時近くになってもようやく60程度まで回復するにすぎなかった。なお、3月2日の19時から3月3日の7時30分までの間、気温を5°Cに保ったところ、3月3日の日中の光合成速度は、3月4日(前夜温0°C)のそれと同じレベルに達した。このことから、-10°Cという強度の低夜温の後作用は次の日中の暖かさ(10°C)だけでは解除されないが、植物体がさらに長い時間暖かい条件に置かれるならば完全に消去されるといえる。なお、本報告に3月3日(前夜温5°C)のデータを記載できな

かった理由は、計器の不調により同日の午前中のデータが欠測となったことにある。第5図から算出した日中(8時~16時)の光合成の総量は、前夜温が0°Cの場合を100とすると、それが-5°C、-10°Cの場合にはそれぞれ81、40となった。以上に述べた本試験の結果から、1の項でみいだされた冬季の光合成の抑制現象は低夜温の後作用によるものであると結論されよう。

高らの最近の成績¹⁰⁾によれば、圃場条件下におけるコムギの平均的な光合成は、低温による抑制を全く受けていない場合のそれを100とすると、これから日中の低温の直接的な作用により5~20、低夜温の後作用により約10減少させられたものであるという。このような光合成の抑制が収量に及ぼす影響については若干の試論¹¹⁾があるだけであり、今後に残された課題であるといえよう。

摘 要

圃場条件下におけるナタネ個体群の光合成・呼吸の日変化の実態を調査し、これらの日変化の型と環境要因との関連を検討した。また規制環境下で、実態調査においてみいだされた現象についての解析を行なった。えられた結果は次の通りである。

1. 全生育期間を通じて、個体群の光合成は全日射強度に追従する日変化を示した(第1図)。
2. 全日射強度との関係から、個体群の光合成の日変化には次の2つの型がみられた(第2図)。
A型: 同一全日射強度の下で比較した場合、午前と午後の光合成値が等しい型。
B型: 同一全日射強度の下で比較した場合、午後に比べ午前のほうが光合成値が低い型。
3. 前記A型は曇天日および明け方の最低気温が比較的高い晴天日に、B型はそれが比較的低い晴天日に出現した(第1表)。
4. 冬季にはB型が、春季にはA型がそれぞれ基調をなした(第1表)。
5. 個体群の呼吸は、夜間においては気温に追従して変動した(第3図)。
6. 規制環境下での実験により、前夜の気温があるレベル以下になると午前の光合成が抑制されB型の光合成の日変化がみられることが確認された。この種の抑制による光合成低下の程度は前夜温が低いほど大きいこと、抑制の解除に要する時間は前夜温が低いほど長いことがみいだされた(第4・5図)。

引用文献

1. BAKER, D. N., J. D. HESKETH and W. G. DUNCAN 1972. Simulation of growth and yield in cotton. I. Gross photosynthesis, respiration, and growth. *Crop Sci.* **12**: 431—432.
2. 深井 周・高 清吉・玖村敦彦 1972. オオムギの光合成と物質生産に関する研究. 第1報 生育各期における個体群のCO₂交換の日変化の特徴. *日作紀* **41**(別1): 19—20.
3. 稲永 忍・玖村敦彦 1974. ナタネの物質生産に関する研究. 第1報 生育に伴うナタネ個体群の光合成能ならびに呼吸能の推移. *日作紀* **43**: 261—266.
4. 稲永 忍・衛藤邦男・角田公正 1979. 冬季における土壌加温がオオムギの乾物生産に及ぼす影響. *日作紀* **48**(別2): 107—108.
5. 伊藤浩司・猪ノ坂正之・沼口寛次 1976. 気温低下にともなうパンゴラガラスの光合成の変化について. *日本作物学会九州支部会報* **43**: 28—29.
6. IWAKI, H., G. TAKEDA and T. UDAGAWA 1976. Ecological studies on the photosynthesis of winter cereals. II. Photosynthesis of wheat and rye plants under field conditions. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* **45**: 32—39.
7. 高 清吉・玖村敦彦 1973. コムギの光合成と物質生産に関する研究. 第1報 生育各期における個体群のCO₂交換の日変化の特徴. *日作紀* **42**: 227—235.
8. ————・村田吉男 1978. コムギの光合成と物質生産に関する研究. 第4報 光合成に及ぼす低夜温の後作用に関する実験的検討. *日作紀* **47**: 69—74.
9. ————・——— 1978. コムギの光合成と物質生産に関する研究. 第5報 低夜温の後作用の機作について. *日作紀* **47**: 75—81.
10. ————・——— 1978. コムギの光合成と物質生産に関する研究. 第6報 圃場における光合成抑制についての量的評価. *日作紀* **47**: 293—299.
11. 村田吉男 1961. 水稻の光合成とその栽培学的意義に関する研究. *農技研報告* **D9**: 1—169.
12. 武田元吉 1976. 麦類の光合成に関する生態学的研究. 第1報 冬期における2条オオムギの光合成の日変化. *日作紀* **45**: 17—24.
13. ———— 1978. 麦類の光合成と物質再生産システム. 第II報 麦類の乾物生長のシュミレーション. *農技研報告* **D29**: 67—112.
14. THOMAS, M. D. and G. R. HILL 1949. Photosynthesis under field conditions. In *Photosynthesis in plants* (Ed.) J. FRANK and W. E. LOOMIS, The Iowa State Coll. Press, Iowa, 19—52.
15. 津野幸人・藤瀬一馬 1965. 甘藷の乾物生産に関する作物学的研究. *農技研報* **D13**: 1—131.

Studies on Matter Production of Rape Plant

IV. Diurnal changes in apparent photosynthesis and dark respiration of rape plants under field conditions

Shinobu INANAGA, Atsuhiko KUMURA and Yoshio MURATA

(Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113)

Summary

Diurnal variations in CO₂ exchange of rape plants were observed over 2–4 successive days at about two-week's intervals from their early growth to full maturity. The measurement of CO₂ exchange was conducted using an assimilation chamber in which conditions were regulated as similar as possible to those of the outside. Principal environmental factors, i.e., total solar radiation, diffused solar radiation, air temperature, soil temperature, air humidity and CO₂ concentration of air were recorded simultaneously with CO₂ exchange. From the data obtained, dependence of the CO₂ exchange rate on the environmental factors was examined. In addition, the after-effects of low night temperature on daytime photosynthesis, the existence of which had been suggested by the result of field observations, were examined under controlled conditions.

The results obtained are summarized as follows:

1. The photosynthetic rate depended primarily on total solar radiation throughout daytime on all the days when observations were conducted (Fig. 1).

2. Based on the mode of correspondence between the photosynthetic rate and total solar radiation at each time of a day, patterns for diurnal variations in photosynthesis were grouped into the following two types (Fig. 2).

Type A: In this type, photosynthetic rates in the morning were nearly equal to those in the afternoon provided they were compared at equivalent solar radiation levels.

Type B: In this type, photosynthetic rates in the morning were lower than those in the afternoon even compared at equivalent solar radiation levels.

3. The pattern of Type A was observed on cloudy days, or on fine days whose preceding night was not so cold or warm. The pattern of Type B was observed on fine days preceded by a very cold night (Table 1).

4. Type B predominated in winter while Type A prevailed in other seasons.

5. The dark respiration rate at night varied mainly with air temperature at each stage of growth (Fig. 3).

6. It was confirmed in the experiment under controlled conditions that the photosynthetic rate in the daytime was affected by the air temperature of the preceding night. Night temperatures below a certain limit brought about depression of photosynthesis during the succeeding daytime. The lower the night temperature, the larger the extent of depression and the longer time required to recover from the depression (Fig. 4, 5).